



I Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem

Turma 2011 - CTA DEMEC-TC/UFPR

JULIANO OLDENBURG RIBEIRO DE CAMARGO

**ESTUDO DE MELHORIAS DE QUALIDADE DA SOLDAGEM MIG/MAG
APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

**CURITIBA
2013**

JULIANO OLDENBURG RIBEIRO DE CAMARGO

**ESTUDO DE MELHORIAS DE QUALIDADE DA SOLDAGEM MIG/MAG
APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Soldagem do curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Paraná.


Orientador: Prof. Dr. Paulo Okimoto

**CURITIBA
2013**

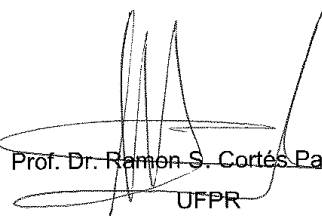
TERMO DE APROVAÇÃO**JULIANO OLDENBURG RIBEIRO DE CAMARGO****ESTUDO DE MELHORIAS DE QUALIDADE DA SOLDAGEM MIG/MAG
APLICADA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

Monografia aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Especialista em Engenharia da Soldagem, área de concentração Fabricação, no Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.


Banca Examinadora :



Prof. Dr. Hélio Padilha
UFPR



Prof. Dr. Ramon S. Cortés Paredes
UFPR



Prof. Dr. Paulo Cesar Okimoto
UFPR

Curitiba, 31 de outubro de 2013.

Resumo:

O processo GMAW – Gas Metal Arc Welding ou MIG/MAG é amplamente utilizado na indústria automobilística, desde a soldagem de componentes da carroceria até chassis. Esse trabalho tem como objetivo melhorar a qualidade do processo a partir da melhoria da estabilidade do arco elétrico, qualidade da solda e redução de respingos. Então foram trabalhados os parâmetros de soldagem como tensão, corrente, indutância e gases de proteção analisando a influência das variações na soldagem. Demonstrando que a melhor opção desses parâmetros reflete em melhorias no processo. No caso dos gases de proteção foi reduzida a quantidade de CO₂/Ar de 25%/75% para 18%/82%, a corrente elétrica foi reduzida de 154 A para 125A. Os resultados serão apresentados posteriormente no trabalho.

ABSTRACT

The GMAW - Gas Metal Arc Welding or MIG / MAG is widely used in the automotive industry, from the welding of body components to the chassis. This work aims to improve the quality of the process by improving the stability of the arc, weld quality and reduced spatter. So were worked welding parameters such as voltage, current, inductance and shielding gases analyzed the influence of variations in welding. Demonstrating that the best choice of these parameters reflects on process improvements. In the case of protective gas is reduced to CO₂/Ar amount of 25% / 75% to 18% / 82%, the electrical current was reduced from 154 A to 125A. The results will be presented later in the work.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. ASPECTOS TÉCNICOS	12
3. MELHORIAS E RESULTADOS	24
4. CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

SUMÁRIO DE TABELAS

TABELA 1 - PRODUÇÃO MUNDIAL DE VEÍCULOS	7
TABELA 2 - FONTES DE SOLDAGEM	28
TABELA 3 - PISTOLAS	28
TABELA 4 - PISTOLAS AUTOMATIZADAS	30
TABELA 5 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO METAL DE ADIÇÃO	30

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - COMPONENTES DOS CHASSIS	9
FIGURA 2 - COMPONENTES DA CARROCERIA	10
FIGURA 3 - CURVA CARACTERÍSTICA ESTÁTICA DO ARCO ELÉTRICO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO ARCO	14
FIGURA 4 - CHASSIS DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	18
FIGURA 5 - TRAVESSAS SOLDADAS PELO PROCESSO GMAW	22
FIGURA 6 - PISTOLA ESAB PSF 250 C	23
TABELA 7 - POROSIDADE ANTES DAS ALTERAÇÕES DOS PARÂMETROS	26
TABELA 8 - RESPINGOS ANTES DAS ALTERAÇÕES DOS PARÂMETROS	27

1) Introdução:

A implantação das montadoras no nosso país dá uma noção da importância que o Brasil está assumindo no cenário mundial de produção de veículos. Conforme a tabela 1 demonstra-se essa tendência de que o Brasil, nos últimos 10 anos, passou para a sétima posição no ranking mundial de volume de fabricação de veículos. Segundo o CEO da Renault, Carlos Ghosn, em reunião na FIEP (2013), disse que o mercado brasileiro tem uma projeção de produção anual de 4,7 milhões de veículos em 2017. No contexto mundial, a previsão é de que o mercado automotivo cresça aproximadamente 3% em 2013. Isso, graças ao desempenho positivo dos mercados emergentes. Os países do BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) são considerados hoje fundamentais para o setor por seu enorme potencial de crescimento. Sendo assim, novos projetos estão sendo desenvolvidos nesses países para se melhor adequarem às demandas dos mercados internos.

Tabela 1 – Produção mundial de veículos 2012.

POSICÃO	PAÍS	AUTOMÓVEIS	COMERCIAIS LEVES	TOTAL
1	China	14.485.326	3.933.550	18.418.876
2	EUA	2.966.133	5.687.427	8.653.560
3	Japão	7.158.525	1.240.129	8.398.654
4	Alemanha	5.871.918	439.400	6.311.318
5	Coréia do Sul	4.221.617	435.477	4.657.094
6	Índia	3.053.871	882.577	3.936.448
7	Brasil	2.534.534	871.616	3.406.150
8	México	1.657.080	1.022.957	2.680.037
9	Espanha	1.819.453	534.229	2.353.682
10	França	1.931.030	363.859	2.294.889
11	Canadá	990.483	1.144.410	2.134.893
12	Rússia	1.738.163	249.873	1.988.036
13	Inglaterra	1.343.810	120.189	1.463.999
14	Argentina	577.233	251.538	828.771
15	Itália	485.606	304.742	790.348

Inicialmente na história do automóvel a carroceria não tinha grande importância. Tendo como seu único objetivo de proporcionar às pessoas um espaço para se acomodarem ou se protegerem do frio.

Em meados de 1920, inicia-se a construção de carrocerias inteiramente metálicas, feitas de diversas peças em chapa de aço, moldadas e soldadas. Entretanto a inovação mais importante deu-se na década de 50 quando a carroceria e chassis passam a ser o esqueleto e coluna vertebral do veículo, sobre a qual se realiza diretamente a montagem do motor e órgãos mecânicos de suspensão, direção, entre outros.

Atualmente as carrocerias e chassis são fabricados de modo a que sua estrutura tenha zonas programadas de deformação frontais, laterais e traseiras que absorvem a energia do impacto através da deformação controlada em caso de colisão. Sendo essencial que os componentes soldados suportem os esforços submetidos.

Por consequência, as carrocerias e chassis são estudados através de testes efetuados com protótipos e a estudos de crash tests visando uma ótima absorção de energia nas zonas estratégicas e que reduzam consistentemente possíveis lesões aos passageiros dos veículos inclusive para as uniões soldadas.

Os chassis tem a finalidade de garantir a ligação dos diversos conjuntos que constituem o veículo e de suportar a carroceria, como também à carga solicitada.

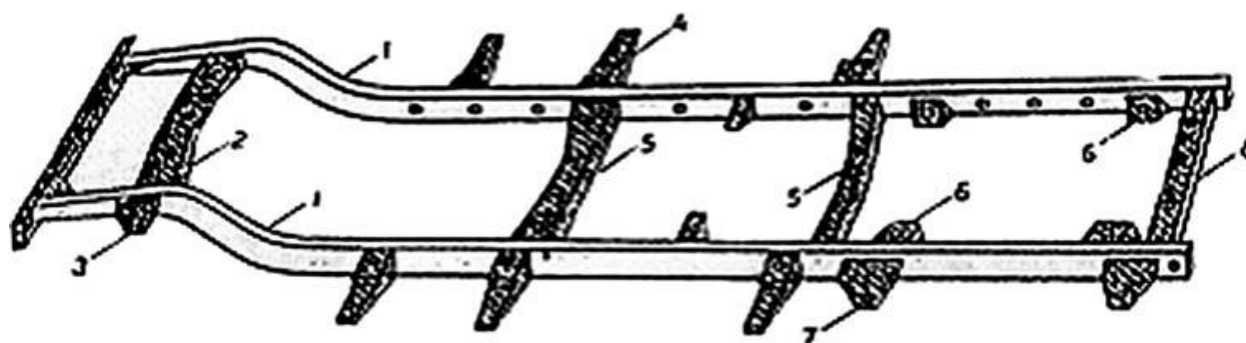
Por vezes a fase de projeto não avalia corretamente os esforços mecânicos solicitados pelos chassis, pois o mesmo está sujeito os muitos tipos de esforços mecânicos. Trata-se de solicitações dinâmicas, que quase sempre apresentam o carácter de choque e de vibrações. Sendo assim, os chassis devem apresentar uma elevada rigidez.

Para possuir as propriedades mecânicas exigidas na aplicação, os chassis devem ser fabricados em material de elevada resistência à fadiga, ter uma boa resistência à deformação para diferentes esforços exigidos e ter um peso relativamente pequeno para manter um valor baixo a relação peso e potência.

Normalmente os chassis são fabricados em chapa de aço de boa qualidade, com baixo teor de carbono, estampada em forma de U ou de duplo T. As espessuras variam de 2 a 5 mm, aços com boa soldabilidade e os componentes estão sujeitos à

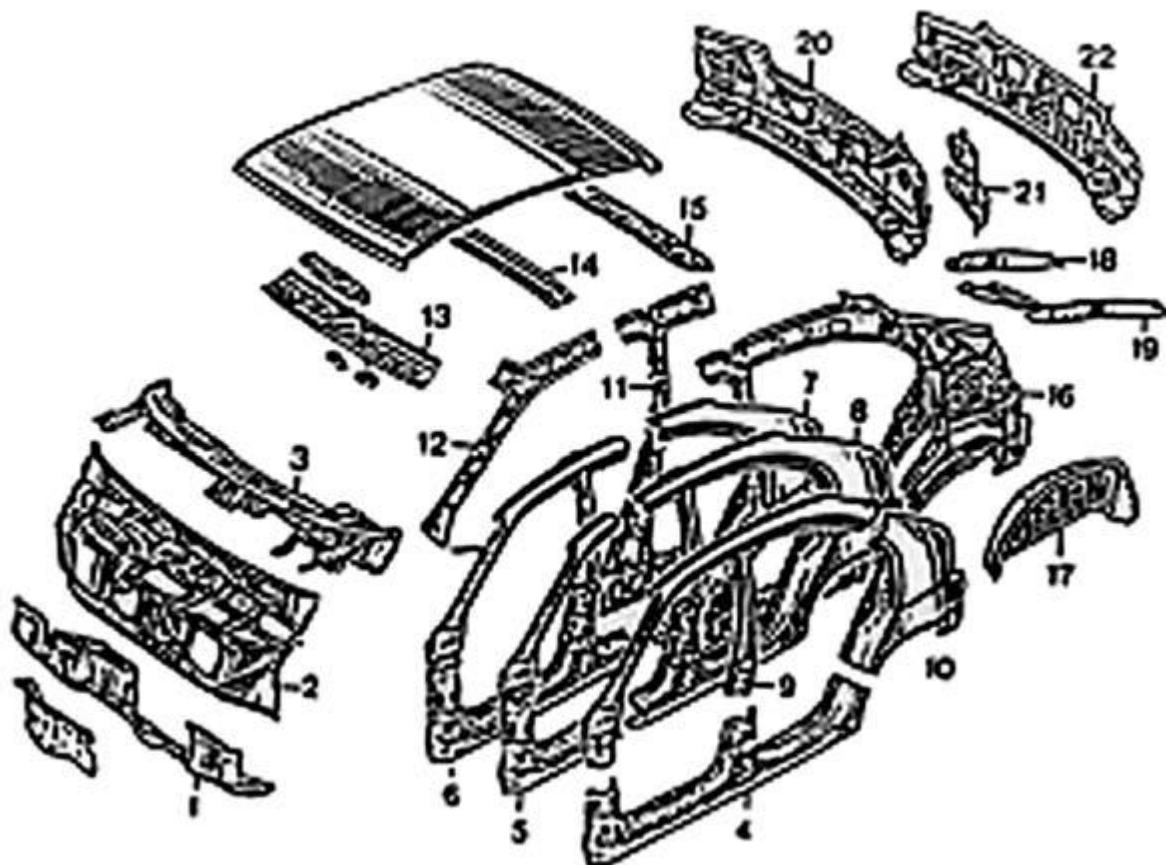
fadiga. Desta forma é possível obter uma boa resistência às solicitações mecânicas, facilidade de ligação dos diversos órgãos e um peso limitado (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982).

Um veículo automotivo deve ter uma boa relação entre a massa e a rigidez dos chassis. Rigidez elevada é importante para garantir que os chassis não sofram deformações significativas. No entanto, para obter-se rigidez elevada, é necessário aumentar a massa dos chassis. A elevação da massa do veículo automotivo faz com que o consumo de combustível seja maior como também o custo de produção.



1. Longarinas
2. Travessa posterior
3. Suporte de ligação da suspensão posterior
4. Travessas centrais de apoio da carroçaria
5. Travessas intermédias
6. Suportes para apoio do motor
7. Suportes de ligação da suspensão anterior
8. Travessa anterior

Figura 1 – Componentes do chassi para veículo utilitário utilizado nas melhorias de processo.



1 - Chapa inferior do reforço frontal; 2 - Reforço frontal do habitáculo; 3 - Travessa da chapa do tablier; 4 - Embaladeira; 5 - Pilar A; 6 - Pilares com embaladeira; 7 - Ilharga de traseira; 8 - Ilharga traseira; 9 - Pilar central; 10 - Ilharga da substituição parcial; 11 - Reforço do pilar central; 12 - Reforço do pilar A; 13 - Travessa de tejadilho frontal; 14 - Travessa de tejadilho central; 15 - Travessa de tejadilho traseiro; 16 - Ilharga interior; 17 - Reforço da cava da roda; 18 - Parte da longarina traseira; 19 - Longarina; 20 - Traseira completa; 21 - Estrutura de suporte do farolim; 22 - Painel traseiro.

Figura 2 – Componentes da carroceria.

A adequada seleção e aplicação do material a ser utilizado para um fim específico é um problema crucial, tanto nas etapas de projeto, como na fabricação. Os fatores que influenciam a escolha de um material são muito diversos, entre eles a sua duração, processo de fabricação, disponibilidade do material (fornecedores), viabilidade, sendo essencial contabilizar um custo mínimo e um peso adequado.

A carroceria encontra-se sujeita a esforços de tração, compressão, flexão e de torção. Esses esforços são provocados pelo peso próprio dos órgãos que suporta, pelas irregularidades da estrada, por acelerações longitudinais e transversais decorrentes da condução e ainda por situações de impacto em caso de acidente.

Segundo MODENESI e MARQUES (2006), a soldagem é o mais importante processo industrial de fabricação de peças metálicas. Processos de soldagem ou processos afins são também utilizados na recuperação de peças desgastadas, para a aplicação de revestimentos de características especiais sobre superfícies metálicas e para corte. O sucesso da soldagem está associado a diversos fatores e, em particular, com a sua relativa simplicidade operacional. Por outro lado, apesar desta simplicidade, não se pode esquecer que a soldagem pode ser muitas vezes um processo “traumático” para o material, envolvendo, em geral, a aplicação de uma elevada densidade de energia em um pequeno volume do material, o que pode levar a alterações estruturais e de propriedades importantes dentro e próximo da região da solda. O desconhecimento ou a simples desconsideração das implicações desta característica fundamental pode resultar em problemas inesperados e, em alguns casos, graves. Estes problemas podem se refletir tanto em atrasos na fabricação ou em gastos inesperados, quando o problema é prontamente detectado, ou mesmo em perdas materiais e, eventualmente, de vidas, quando o problema é levado às suas últimas consequências.

Na indústria automobilística, o processo MIG/MAG é utilizado amplamente por apresentar uma vantagem comum entre produtividade, flexibilidade e relativa facilidade de automação. Ainda hoje, apesar de ser um processo introduzido na indústria na década dos 1960 e atualmente concorrer com novas técnicas de soldagem, mantém a vanguarda na soldagem a arco (SILVA, 2008). Para melhorar a sua competitividade as indústrias sempre buscam melhorar a sua presença no mercado, então é necessário aprimorar os processos tanto em capacitação da mão-de-obra para otimizar a qualidade do produto quanto o aumento da produtividade. Dessa forma é preciso conhecer a fundo os conceitos da soldagem MIG/MAG para tomar as melhores decisões principalmente na parte de projetos deixando de lado modelos empíricos que muitas vezes são utilizados pela falta de conhecimento adequado do processo. Também se desvincular da necessidade de funcionários técnicos de outros países para solucionar problemas gerados nas plantas brasileiras. Devido aos maiores investimentos necessários, a carroceria é o departamento com maior número de

funcionários numa planta automotiva e também muitas vezes é o gargalo de produtividade, impactando diretamente o departamento de pintura e montagem.

O processo MIG/MAG pode ser usado em materiais de diversas espessuras, também é utilizado na manutenção de equipamentos e peças metálicas, recuperação de peças desgastadas ou revestimento superficial.

Em soldagem de materiais metálicos a soldagem a arco apresenta vantagens que justificam a sua utilização, entre elas: concentração de energia suficiente para a fusão localizada, facilidade de controle, baixo custo e um nível aceitável de riscos aos operadores. A produção do arco é proveniente da emissão de elétrons em quantidade satisfatória para sustentar a corrente no arco, ou seja, a condução elétrica no arco é devida quase totalmente a este processo. A alta temperatura do gás de proteção na região da solda promove choques intensos de seus componentes, que tem como consequência a ionização do gás no arco de soldagem.

Uma característica na soldagem MIG/MAG convencional é a elevada dependência entre quantidade de arame fundido e corrente imposta no processo, ou taxa de fusão. Esse fato muitas vezes restringe à aplicação desse processo, pois em virtude do incremento da deposição de material, a energia requerida para sua fusão termina por comprometer tanto a estabilidade do processo, como as peças a serem soldadas.

Desta forma, quando se aumenta a adição de material, por consequência, aumenta-se a velocidade de soldagem e a produção, pode comprometer a qualidade do cordão de solda. Essa relação entre produção e qualidade não somente está ligada ao cordão de solda como resultado final do procedimento, mas também à estabilidade do processo e ao ambiente de trabalho. Sendo necessário um estudo aprofundado dos impactos que as variantes no processo de soldagem podem refletir no produto final.

2) Aspectos técnicos:

O processo de soldagem MIG/MAG, como outros procedimentos de soldagem, procura-se conseguir a união de peças sem prejudicar as propriedades do material.

Baseia-se na ionização de um gás a partir de uma fonte de energia de um arco elétrico possuindo um arame consumível alimentado continuamente. Trata-se de um processo com eletrodo contínuo, que possivelmente eleva a taxa de deposição, elevada penetração, pode-se soldar diferentes ligas metálicas, exige pouca limpeza após a soldagem, não exige grandes habilidades do soldador, equipamento relativamente caro e complexo, proteção do arco é sensível a corrente de ar e pode gerar elevada quantidade de respingos. O gás de proteção pode ser inerte (MIG - argônio, hélio), ativo (MAG – CO₂) ou mais comumente utilizado como mistura entre os dois casos. O arame consumível atua como um condutor elétrico a partir do bico de contato. O equipamento básico consiste em tocha de soldagem, fonte de energia de corrente constante, fonte de gás e alimentador de arame. Devido ao peso da pistola e das mangueiras o trabalho tende a ser mais exaustivo para o operador. Esse processo apresenta uma elevada taxa de fusão, muitos modos de transferência do metal, soldagem em várias posições, baixo potencial de hidrogênio e pode ser automatizado. Os modos de transferência mais tradicionais são: curto-circuito, globular ou goticular. Podendo variar conforme os parâmetros de soldagem ou variações do processo como: corrente, tensão, polaridade, tipo do gás de proteção, diâmetro e composição química do eletrodo. Para baixas correntes médias a transferência ocorre por curto-circuito, aumentando-se a corrente passamos a ter transferência globular e chegando à corrente de transição passa-se a ter transferência goticular. Na corrente de transição as forças que atuam no destacamento das gotas sofrem alteração.

É utilizado na soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura > 1 mm, soldagem de tubos, chapas, entre outros, podendo ser soldado em qualquer posição.

No arco elétrico ocorre a passagem de corrente elétrica a qual encontra uma resistência elétrica causando uma queda de tensão. Ele possui regiões anódica, catódica e coluna de plasma. A maior parte do calor de um arco se encontra nas regiões anódicas e catódicas. A polaridade da máquina de solda influencia no processo. No caso da polaridade positiva, os átomos partem da peça para o eletrodo, então a região catódica é na poça de fusão e a ponta do eletrodo é a região anódica. Para polaridade negativa os elétrons partem do eletrodo para a peça, nesse caso os

elétrons são emitidos pelas camadas de óxidos, sendo necessária a utilização dos gases de proteção como o CO₂ em materiais de difícil oxidação como, por exemplo, aço carbono. Os alumínio são normalmente soldados com gases inertes. O arco elétrico não possui uma tendência linear conforme a lei de Ohm, sendo a curva característica estática do arco varia em função do seu comprimento de arco, diâmetro do arame, composição química, polaridade. A física do arco de soldagem é uma área de difícil compreensão, devido à grande dificuldade da medição das propriedades físicas do arco sem causar interferência em sua estrutura nem a destruição dos instrumentos de medição, pois se trata de um elemento sensível e de elevadas temperaturas. O estudo experimental do arco elétrico é realizado principalmente de forma indireta, uma vez que as condições no arco são extremamente agressivas e métodos diretos tendem a perturbar de forma significativa as condições do arco e que o estudo tanto experimental como teórico do arco é, em geral, bastante complicado e muitos aspectos ainda permanecem pouco compreendidos (MODENESI e MARQUES – 2006).

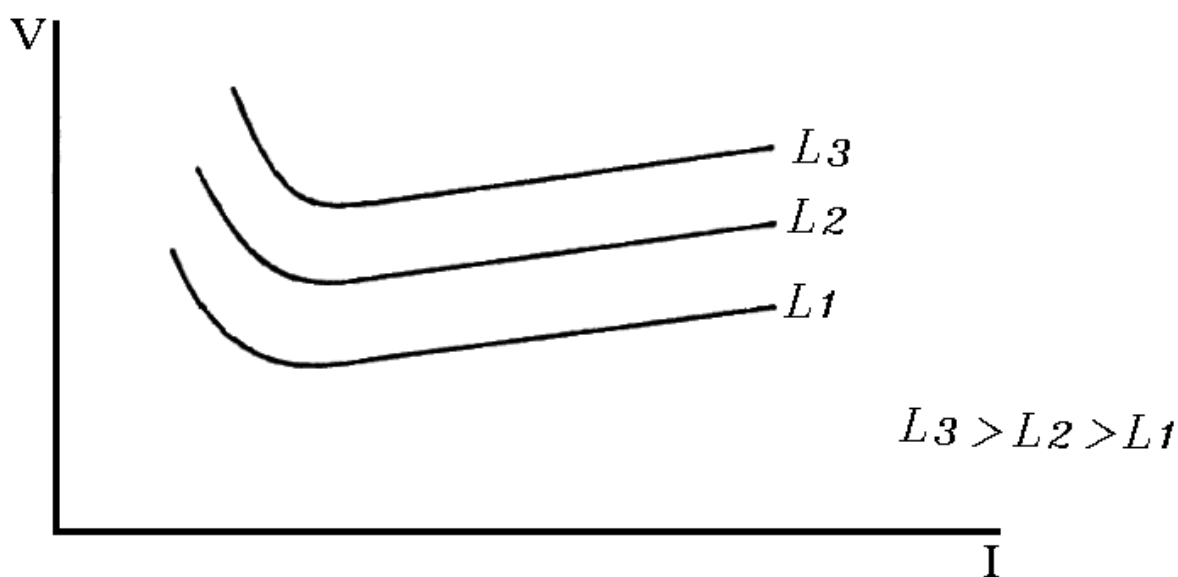


Figura 3: Curva Característica Estática do arco elétrico em função do comprimento do arco.

A fusão do arame ocorre em função do aquecimento por Efeito Joule e calor entre área da gota e peça. No caso do Efeito Joule, ocorre-se uma passagem de corrente pelo arame que possui resistência elétrica gerando calor, dessa forma influencia na fusão do arame de solda. Outra parte do calor para a fusão parte do arco elétrico.

Algumas forças influenciam no destacamento das gotas metálicas dentre elas força peso, força devido à tensão superficial, força eletromagnética, força de arraste e força de vaporização. Para correntes acima da corrente de transição, o destacamento das gotas passa a ocorrer a partir da instabilidade Pinch. A força peso é devida à ação da gravidade e da massa da gota. A massa da gota depende da massa específica do metal de adição e do volume da gota. A força superficial para do princípio que com o crescimento da gota ocorre aumento da área da superfície e envolve energia, e para criar uma nova área é necessária uma força e essa força atuando sobre a área gera uma tensão superficial. A força eletromagnética é induzida por um campo magnético aumentando em função da densidade de corrente, sendo uma força de compressão. A força de arraste ocorre em função do jato de plasma, essa força varia em função da densidade do metal líquido, diâmetro da gota, do coeficiente de arraste e velocidade do jato de plasma. A força de vaporização é originada em função da evaporação dos compostos químicos do metal de adição na divisão entre gota e arco onde muito calor é imposto. A instabilidade Pinch conforme mencionado anteriormente ocorre acima da corrente de transição, por se tratar de correntes altas há uma alta geração de calor e a gota metálica assume um formato cilíndrico com estreitamentos e o efeito Pinch constringe ainda mais a gota favorecendo o desprendimento (SCOTTI e PONOMAREV, 2008).

A penetração aumenta proporcionalmente com o aumento da corrente de soldagem, pois maiores correntes levam a um maior calor gerado pelo arco elétrico. Também menores comprimentos de arco favorecem a uma maior penetração da solda, pois terá uma menor resistência elétrica e aumento da corrente, e também um arco mais concentrado na poça de fusão. A polaridade influencia na penetração, sendo soldagens realizadas com polaridade positiva possuem maiores penetrações, pois geram maiores

concentrações de calor na ponta do eletrodo. Podem variar em função do gás de proteção. A soldagem empurrando a tocha gera menor penetração, pois ocorre o preaquecimento aumentando a molhabilidade, largura e penetração do cordão. No caso da soldagem puxada, ocorre menos fusão de metal base fundido. Com relação aos gases de proteção, soldagem com maiores teores de CO_2 apresentam uma penetração mais elevada e melhor acabamento (DRAPINSKI, 2006).

O modo de transferência por curto-circuito é a forma mais utilizada no processo de soldagem MIG/MAG, pois possui baixo aporte térmico e no caso das chapas da indústria automotiva pode gerar deformações ou até perfurar o material base. Nesse caso também apresenta uma alta quantidade de respingos.

O tipo do gás escolhido pode melhorar o resultado de uma soldagem por curto-circuito, e deve ser testado levando-se em consideração as características da fonte de soldagem. Quando o processo é realizado com CO_2 puro, ocorre uma dificuldade para conseguir estabilidade do arco elétrico e também terá produção de respingos. A condutividade térmica do gás de proteção ionizado é ligada com a quantidade de calor transferida pelo choque das partículas existentes na coluna de plasma com o material soldado. A condutividade térmica do Ar é menor que do CO_2 o que justifica seu maior aporte térmico na poça de fusão, sendo assim ele é o gás mais utilizado. Ela atua na transferência metálica e no perfil de penetração do cordão na soldagem. Podem ocorrer porosidades na solda se a vazão de gás for muito alta ou muito baixa, pois se for excessiva o fluxo será turbulento provocando arraste de ar para a poça de fusão gerando óxidos na solda e se for muito baixa o gás não consegue proteger a poça de fusão.

Os procedimentos de segurança dos equipamentos devem ser seguidos conforme o fabricante direciona, em seguida fazer o treinamento adequado dos operadores, seguindo essas normas de segurança. Devem-se analisar as condições ambientais para realizar a instalação e operação das máquinas de soldagem a arco elétrico, pois muitos equipamentos normalmente são projetados para operarem em locais onde a temperatura não é negativa. Os equipamentos, porém, são adequados para operar em atmosferas contendo gases, pó e raios de luz, presentes numa soldagem a arco.

Inicialmente na operação todos os cabos e conexões devem ser examinados mecanicamente e eletricamente para as correntes de soldagem a serem utilizadas e também verificar a limpeza dos mesmos. Manutenções preventivas devem ser realizadas para verificar a eficácia do revestimento dos cabos, pois qualquer falha encontrada pode resultar em problemas de qualidade do isolamento e da condutividade elétrica. O soldador nunca deve enrolar ou prender o cabo de soldagem em volta de partes do seu corpo e o alicate do eletrodo não deve ser resfriado pela imersão em água, entretanto deve ser bem isolado para proporcionar maior segurança ao soldador. Na movimentação da máquina de solda a fonte de alimentação elétrica do equipamento deve ser desconectada. Os soldadores devem ser instruídos para evitar choques elétricos, pois o controle pessoal é essencial para que não ocorram acidentes, sendo assim nenhum dano será causado se todas as operações forem feitas cuidadosamente. O processo de soldagem com MIG/MAG, além de emitir radiações, libera fumos e gases nocivos para a saúde, dessa forma é necessário uma adequada ventilação.

A geração de fumos metálicos está relacionada diretamente com a voltagem e corrente escolhidas, velocidade de soldagem, limpeza das peças (presença de óleos), consumo e composição química dos eletrodos, composição química das peças soldadas e ventilação do local.

O processo de soldagem MIG/MAG produz soldas com baixo nível de hidrogênio difusível, o que reduz a chance de apresentar trincas de hidrogênio. Entretanto no modo de transferência por curto-circuito pode ocorrer a geração de trincas de hidrogênio, também conhecido por trinca a frio. Ela acontece quando possui hidrogênio difusível, microestrutura frágil e tensões atrativas, sendo mais comum na zona termicamente afetada (ZTA). A presença do hidrogênio faz com que o mesmo se difunda e a sua alta concentração gera a propagação das trincas. Altas taxas de resfriamento favorecem sua ocorrência, então reduzir a taxa de resfriamento e quantidade de hidrogênio difusível diminuem a possibilidade de ocorrência da trinca de hidrogênio. Sob condições térmicas normais o controle das trincas de hidrogênio é feita a partir do monitoramento da microestrutura final do processo (AHN, 2001). O hidrogênio pode ser originar da umidade do metal de adição, da umidade atmosférica

em contato com o arco elétrico, entre outros. Considerando-se a limpeza adequada (retirada de óleos, graxas, hidrocarbonetos, lubrificantes etc) da superfície do material e preaquecimento para eliminação da umidade do material, deve-se controlar a quantidade de hidrogênio no metal de adição, dessa forma consumíveis com baixo potencial de hidrogênio são utilizados para reduzir a possibilidade de ocorrência de trincas de hidrogênio. É importante mencionar que o gás de proteção não deve conter hidrogênio a fim de evitar essas trincas. Materiais com elevada resistência mecânica tendem a ser mais suscetíveis a trincas a frio. O valor da dureza da ZTA pode ser medido para analisar a suscetividade à trincas de hidrogênio, tendo um valor máximo de 350 HV. Deve-se ter cuidado quando o material for matensítico, pois se pode trincar com baixos índices de hidrogênio.

A soldagem MIG/MAG por se trabalhar com altas temperaturas e localizadas podem alterar as propriedades do material sendo soldado. Normalmente implicam em degradação dessas propriedades, e deve ser bem analisado para não comprometer a aplicação do produto final. Sendo assim, é necessário estudar o efeito da operação de soldagem sobre essas propriedades do material. Algumas alternativas de estudo são aumentar o nível de informação que auxiliem no desenvolvimento de novos materiais menos sensíveis à soldagem, otimizar os melhores parâmetros de soldagem, ciclo térmico, geometria da solda e microestrutura.

Os tratamentos térmicos e mecânicos aplicados a um produto intermediário não visam apenas a obtenção de uma peça final de formato e dimensões desejadas. Tem por objetivo, controlar e otimizar suas propriedades. Muitas propriedades dos aços estão diretamente relacionadas com a estrutura resultante dos processamentos anteriores sofridos pelo material. Por exemplo, as condições de resfriamento podem causar uma variação na resistência à deformação plástica do material. Devido ao calor, as regiões aquecidas se dilatam, mas são restringidas às regiões com temperaturas mais baixas causando deformações nas regiões aquecidas. Devido às deformações plásticas ocorrem tensões residuais e distorções no material. As tensões residuais podem levar a formação de trincas, corrosão e fratura frágil. As deformações plásticas podem surgir a partir de efeitos térmicos, sendo diretamente proporcionais ao

coeficiente de dilatação específico de cada material (Aço carbono = $13 \cdot 10^{-6}$ / K). As alterações de volume devido às mudanças de fases dos materiais e quando passa da região elástica para a plástica geram tensões residuais. Isso pode ser evitado se o material for aquecido de forma uniforme ou controlado a temperatura do processo. As estruturas soldadas tendem a apresentar uma distribuição complexa de tensões residuais na região da solda, principalmente por esforços de tração. Este estado de tensão tende a dificultar a deformação plástica da região da solda podendo favorecer o desenvolvimento de trincas nessa região quando essa apresenta baixa ductilidade ou quando sujeita a solicitações severas. Em resumo, a distribuição de tensões residuais em um componente soldado é afetada por diversos fatores, incluindo as características do metal de base e da solda (à temperatura ambiente e a altas temperaturas), a geometria da junta soldada e a sua ligação com outros componentes e as condições de soldagem devido a distribuição de temperaturas resultante na peça durante a soldagem.

Existem diversas técnicas para a determinação experimental de tensões residuais, dentre elas: técnicas de strainages elétricos e mecânicos, técnicas de revestimentos frágeis, técnicas de revestimentos fotoelásticos, difração com difratômetro, difração em filme, técnicas com ultrassom, técnicas com medidas de dureza, técnicas magnéticas, fissuração pelo hidrogênio, fissuração por corrosão sob tensão, entre outras.

Essas técnicas são baseadas na medida da deformação elástica que ocorre quando uma parte de um corpo de prova contendo tensões residuais é removida. Dependendo do tipo de sensor usado, de sua forma de colocação e de remoção do material, diferentes técnicas são definidas. Quando sensores elétricos ou mecânicos strainages são usados, as deformações elásticas associadas à remoção de material podem ser determinadas quantitativamente e, assim as tensões residuais inicialmente existentes no material podem ser determinadas. Essas são as mais usadas para a determinação experimental de tensões residuais apesar de serem técnicas destrutivas.

Devido às tensões residuais surgem algumas consequências: flambagem, falha por fadiga, corrosão sob tensão, fratura frágil, formação de trincas soldadas e instabilidade dimensional.

O índice de tensões residuais em uma junta soldada pode ser melhorado reduzindo-se a quantidade de calor fornecido à junta ou a quantidade de metal depositado. Podendo ser feito reduzindo-se o ângulo do chanfro ou usando-se preparações simétricas e também se evitando depositar material em excesso. Tensões residuais também podem ser reduzidas pelo uso de metal de adição com a menor resistência mecânica admissível no projeto, assim como uma redução dos vínculos externos da junta soldada. Após a soldagem, as tensões residuais podem ser aliviadas em uma peça ou estrutura por métodos térmicos ou mecânicos. Esses métodos se baseiam em permitir a deformação permanente localizada do componente que possui tensões residuais reduzindo ou eliminando as variações dimensionais responsáveis pela existência das tensões residuais. No caso do uso de métodos térmicos, a elevação da temperatura leva a uma redução do limite de escoamento do material facilitando a sua deformação plástica. Além disto, dependendo da temperatura e do tempo de tratamento, deformação por fluência pode ocorrer no material e contribuir para o alívio de suas tensões residuais. Os métodos mecânicos se baseiam em facilitar o escoamento plástico localizado pela aplicação de alguma forma de carregamento mecânico.

A macrografia primeiramente se prepara uma superfície plana, por lixamento e posteriormente por ataque químico, na interpretação dos resultados e na obtenção de documentos que reproduzam os resultados dos exames. A análise da superfície atacada é feita normalmente a olho nú ou com uso de microscópio ótico. A técnica macrográfica pode ser dividida respectivamente nas etapas: corte, lixamento, ataque químico, exame e análise e elaboração do documento do exame. O corte da amostra é feito através de serra mecânica, arco de serra, disco abrasivo, etc. A escolha da seção a ser cortada é função dos objetivos do exame. Algumas características podem ser observadas em um exame macrográfico para soldagem: porosidades, bolhas, incrustações, granulação grosseira, número de passes de soldagem, profundidade e penetração dos cordões, extensão da zona termicamente afetada (ZTA) e homogeneidade da solda. Na fase de interpretação dos resultados do exame macrográfico é fundamental considerar a composição química do metal base, do metal de adição e procedimentos utilizados. No caso da micrografia é muito similar à macrografia utilizando uma lixa mais fina e a análise metalográfica. As etapas são as

seguintes: corte, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico, exame e análise e elaboração de documento. O corte é realizado da mesma maneira da macrografia. O lixamento é feito em lixadeiras rotativas com lixas tipo 200, 320, 400 e 600. O polimento utiliza abrasivos como óxido de magnésio, alumina e óxido de cromo. O ataque químico pode ser realizado por aplicação ou imersão em subseqüentemente, é lavado e secado. Alguns exemplos de reativos são: Nital, Picral, metassulfito de sódio e cloreto férrico. A análise da micrografia é baseada no ataque químico, composição química e diagramas de equilíbrio.

Uma parcela significativa dos componentes de chassis da suspensão, em veículos de passeio, é fabricada em chapas de aço estampadas por conformação e, posteriormente, unidas pelo processo MIG/MAG. Estas peças têm como particularidades:

- Espessuras que variam de 2 a 5 mm;
- Aços com boa soldabilidade;
- As peças solicitadas mecanicamente estão sujeitas a fadiga;
- Quase todos os componentes têm pelo menos uma característica de segurança, dentre as quais se destacam os resultados de macrografia.



Figura 4: Chassis da indústria automotiva (veículos utilitários).



Figura 5: Travessas soldadas pelo processo GMAW.

Isto dito, fica caracterizado que se devem produzir soldas de qualidade, sem esquecer o aspecto de otimização do tempo de ciclo, visando ainda a redução de investimentos e do uso de mão de obra. Para que se tenha uma ideia mais concreta do tamanho deste desafio, um agregado de motor (peça que sustenta a suspensão dianteira do veículo) pode ter de 5 a 7 metros de cordão de solda e, para um eixo traseiro, este somatório pode facilmente atingir os 5 metros de comprimento. Os grandes fabricantes deste tipo de peça adotam velocidades médias de soldagem de 15 mm/s (90 cm/min) no processo de soldagem ao arco elétrico MIG/MAG. Esta velocidade fica normalmente limitada, pelas exigências contidas em normas particulares a cada peça ou montadora, principalmente no que diz respeito à geometria da seção dos cordões e ao perfil de penetração obtido.

Neste caso, os resultados de macrografia acabam servindo de documento que certifica a qualidade da realização dos componentes e devem ser arquivados normalmente por dez anos. Além disso, os processos de fabricação, empregados na produção deste tipo de peça, incorporam de forma intensiva o uso sistemas automatizados e robotizados de produção, de modo a aumentar a repetitividade dos processos e limitar a quantidade de defeitos. Quando são empregados processos de soldagem manual, os postos de trabalho devem incluir sistemas anti-erro (poka-yokes), que vão manter em um nível aceitável o número de peças não conformes.

Os índices de “recall” ou recolhimento de produtos com os consumidores para reparação na área chassis, para as grandes montadoras, são relativamente baixos, o que atesta, de forma prática, que o sistema de qualidade empregado realmente funciona. Mesmo assim o risco existe, e os custos envolvidos são normalmente elevados, chegando a casa de milhões de reais, dependendo do volume de veículos sob risco.

A complexidade e a elevada responsabilidade envolvida na fabricação das peças chassis exige mão de obra adequadamente qualificada. Depara-se, portanto, diante de um desafio que é suprir as necessidades do mercado com pessoal qualificado e que possa ser integrado rapidamente às equipes de engenharia e fabricação. São pouco montadoras que possuem treinamento específico em soldagem MIG/MAG em suas plantas, sendo assim é necessário que o mercado ofereça mão de obra qualificada externamente.

3) Melhorias / resultados:

A proposta está orientada à redução ou eliminação das perdas de material depositado e diminuir as emissões de fumos. Assim como, melhoria da qualidade dos conjuntos soldados oferecendo maiores resistências mecânicas e sendo assim aumentando a segurança dos consumidores dos veículos.

A soldagem dos chassis na indústria automobilística é realizada principalmente por curto-circuito. Nesse modo de transferência metálica forma-se uma pequena poça de metal fundido evitando o escorrimento principalmente nas soldagens verticais e de topo. Isso é um fator crucial no caso da indústria automobilística, pois a soldagem de chassis e carrocerias demanda movimentação em inúmeras posições de soldagem. Um problema gerado no processo é o alto índice de respingos, os quais geram perdas de consumíveis e também causam problemas de qualidade. Um problema comum são as porcas em que esses materiais aderem causando problemas de fixação. A falta de retirada desses materiais geram problemas posteriores no processo podendo até levar o veículo a ser restringido para a venda. Existem casos de descartes de carrocerias por falta de atenção a esse procedimento. Dessa forma, buscaram-se alternativas no processo que reduzisse o nível de respingos a partir da melhor regulação possível dos parâmetros de soldagem (corrente, tensão, gás de proteção e indutância).

A tensão de soldagem foi aumentada para ampliar o tamanho do arco elétrico, pois se reduziu os picos de corrente em curto-circuito, nesse caso também se adicionou tempo de fusão para a poça do material fundido. Entretanto apenas essa variação do processo não foi suficiente para diminuir a geração de respingos. Então para se evitar grandes oscilações de corrente foi trabalhado sobre a indutância para se controlar o desprendimento das gotas, e por consequência redução dos respingos. Foram trocados os cabos e também se alternou a corrente do processo de 154 A para 125 A. Mantendo a transferência metálica em curto-circuito.

Para os gases de proteção foi reduzida a quantidade de CO₂/Ar de 25%/75% para 18%/82% para aumentar a estabilização da transferência metálica, pois o Ar necessita uma menor energia para estabilizar o arco elétrico. Houve um acréscimo no custo do processo, mas o pay-back foi justificado pelas perdas históricas, problemas de qualidade, perdas de material e melhoria do processo. Essa ação também contribuiu para a redução dos respingos. Pela redução dos respingos ocorreu uma redução no índice de porosidades na solda, pois os respingos aderiam à parte interna do bocal, diminuindo seu diâmetro e favorecendo a geração de turbulência pelos gases, facilitando a entrada de gases atmosféricos geradores de porosidades na solda. Esse

fato ajudou na produtividade tendo em vista que os operadores perdem menos tempo realizando a automanutenção dos equipamentos e também um ganho econômico por utilizar em menores quantidades os anti-respingos. O modo operatório foi revisto e os operadores foram instruídos a utilizar um ângulo de soldagem e distância entre o bocal e o material base adequados para dificultar a entrada de ar atmosférico. A vazão do gás foi aumentada de 9 L/min para 11 L/min para se reduzir o nível de porosidades na solda devido ao ar atmosférico para um diâmetro de bocal de 14 mm. Os técnicos de manutenção foram instruídos para verificar o alinhamento e posicionamento dos bicos de contatos dentro do bocal também a fim de evitar a entrada de ar atmosférico.



Figura 6: Pistola ESAB PSF 250C

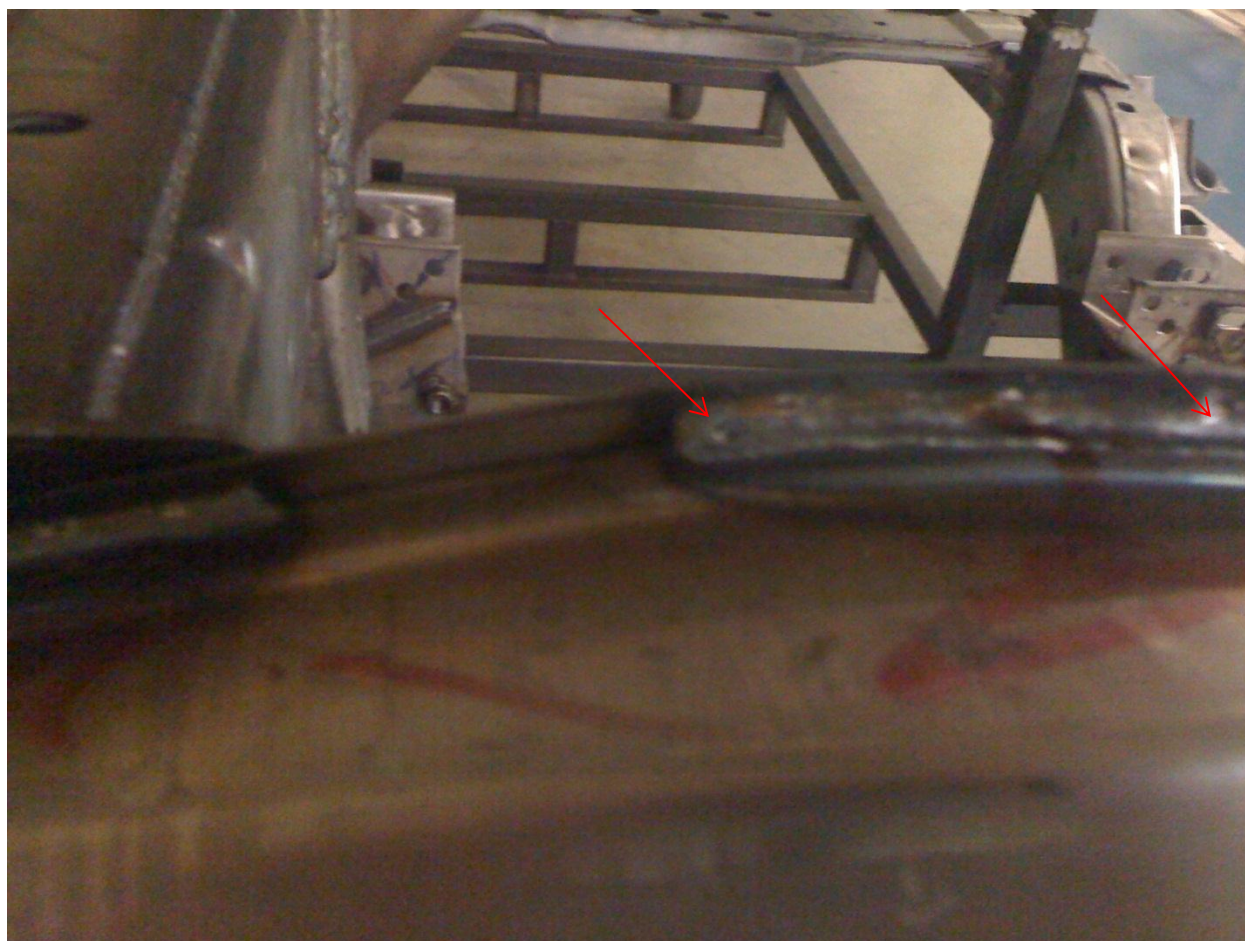


Figura 7: Porosidades antes da alteração dos parâmetros.

Aumentou-se a velocidade de soldagem, para reduzir o nível de perfuração das chapas. Tendo em vista que esse problema de processo gera um custo muito alto para as empresas, pois esses componentes devem ser descartados. Também para melhorar o controle de penetração da solda, redução de distorções nas chapas ao diminuir a energia de soldagem, diminuir o risco de ocorrência de fusão da peça além do necessário, melhorar o desempenho do processo em soldagens fora-de-posição (evitar o escorrimento de material) e reduzir a geração de fumos e respingos (ou salpicos). Desse modo, outro benefício é direto tanto para o operário que trabalha em condições mais limpas e seguras, quanto para a empresa que diminui os tempos de parada ocasionados por manutenção e limpeza das tochas e manipuladores. Favorece

também a eliminação de trabalho posterior sobre a peça que apresenta respingos e se diminui a contaminação do ambiente reduzindo as emissões tanto voláteis como sólidas, amenizando a possibilidade de ações trabalhistas em função de problemas de saúde dos funcionários.



Figura 8: Respingos antes das alterações dos parâmetros.

Tabela 2 – Fontes de soldagem utilizadas na melhoria do processo:

		Condições de Soldagem	
Nome Comercial	Fornecedor	Curto-circuito	Pulsado
KEMPPI PRO 3200	KEMPPI	Sim	Sim
TPS 2700*	FRONIUS	Sim	Sim
TPS 2700 CMT	FRONIUS	Sim	Sim

*Apresenta o melhor custo / benefício.

As condições de operações são avaliadas em chapas galvanizadas, a fim de satisfazer os critérios de aceitação de qualidade (geometria do cordão). O modo de transferência por curto-circuito é aplicável a todas espessuras e em todas as posições de soldagem, enquanto o modo de transferência por curto-circuito pulsado é restrito à chapas com mais de 1,2 mm de espessura e em posição plana. No caso das chapas de alumínio elas devem ser soldadas por MIG pulsado.

Segundo a norma, as fontes de soldagem mais simples podem ser usadas desde que:

- Chapas sem revestimento;
- Chapas galvanizadas situadas fora das zonas de aparência (não avaliado pelo departamento de qualidade)

A fonte de soldagem deve:

- Ter um sistema de alimentação de arame nas quatro rodas (bobina)
- Ser validado pelo especialista técnico da planta de destino e aprovado pelo departamento de engenharia;
- O fornecedor da fonte de soldagem deve ter uma filial local capaz de fornecer assistência técnica e realização de manutenção em seus equipamentos;

Tabela 3 – Características da pistola utilizadas na melhoria do processo.

Peso	1,5 kg
Comprimento	300 mm
Comp. seção terminal	100 mm
Diâmetro seção terminal	35 mm
Ângulo Goose neck	45°

Tabela 4 – Pistolas automatizadas utilizadas na melhoria do processo;

Fornecedor	Pistola
DINSE	METZ 5xx
BINZEL	series VTS Everest 1CT/2CT 505CT

Os parâmetros de soldagem medidos pela norma Renault são: corrente, tensão, velocidade de arame. Sendo excluído da medição o fluxo do gás.

Tabela 5 – Composição química do metal de adição (%).

C	Mn	Si	S	P
0,07	1,40	0,80	0,010	0,010

As fontes de soldagem utilizadas no processo estão especificadas no anexo 1. Ela influencia no desempenho do processo de soldagem tanto na qualidade quanto na produtividade. A intensidade da fonte varia entre 0,005 e 0,5 GW/m². Ela permite a regulagem da corrente e tensão mais adequada ao processo. As fontes atendem às normas de segurança e apresentam resistência adequada aos ambientes da fábrica. Também possuem rápida e fácil manutenção, dessa forma evita panes longas na linha

as quais são muitos prejudiciais financeiramente principalmente na indústria automobilística. O sistema é monitorado todo o tempo por um sistema chamada SMP, o qual o operador informa on-line qualquer problema de funcionamento do processo de soldagem. As fontes de soldagem passam periodicamente por manutenção preventiva, tendo os resultados dessa manutenção passando por uma reunião diária de acompanhamento do estado dos equipamentos.

O gás de proteção foi alterado melhorando a proteção da poça de fusão contra o oxigênio do ar atmosférico, a qualidade, o processo e a produtividade da soldagem em aços. Demonstrando que a redução da composição de CO₂ teve grande influência sobre a estabilidade do arco elétrico, na transferência metálica, redução de perdas por respingos, melhoria na geometria do cordão de solda, no custo, aumento na velocidade de soldagem, melhoria na soldagem em diferentes posições. Ou seja, a escolha da composição adequada dos gases foi essencial para se obter o produto final esperado. Contudo no processo de soldagem por transferência por curto-circuito os gases de proteção podem determinar uma melhoria na qualidade da solda, entretanto foram analisadas em conjunto com os parâmetros de soldagem, por exemplo, tensão e corrente. Esse modo de transferência é destaque também pelo custo devido ao gás de proteção. Também se deve sempre atentar na quantidade de elementos químicos dos gases a fim de evitar que partes desses componentes fiquem implícitos nas soldas podendo gerar porosidades e fragilização da união soldada. As propriedades dos gases como potencial de ionização, condutividade térmica, potencial de oxidação e tensão superficial, também determinam as características de operação do arco de soldagem e as propriedades das soldas.

4) Conclusões:

Esse trabalho conseguiu obter resultados positivos na soldagem MIG/MAG da indústria automotiva aliando os conhecimentos teóricos adquiridos na especialização em engenharia de soldagem aliada à prática da linha de montagem de carroceria e chassis fatos que muitas vezes não eram conhecidos tecnicamente ou até mesmo eram negligenciados no processo. As principais melhorias foram que a tensão de soldagem foi aumentada para ampliar o tamanho do arco elétrico, pois se reduziu os picos de corrente em curto-circuito, nesse caso também se adicionou tempo de fusão para a poça do material fundido. Foram trocados os cabos e também se alternou a corrente do processo de 154 A para 125 A. Para os gases de proteção foi reduzida a quantidade de CO₂/Ar de 25%/75% para 18%/82% para aumentar a estabilização da transferência metálica. Essa ação também contribuiu para a redução dos respingos. Pela redução dos respingos ocorreu uma redução no índice de porosidades na solda, pois os respingos aderiam à parte interna do bocal, diminuindo seu diâmetro e favorecendo a geração de turbulência pelos gases, facilitando a entrada de gases atmosféricos geradores de porosidades na solda. Esse fato ajudou na produtividade tendo em vista que os operadores perdem menos tempo realizando a automanutenção dos equipamentos e também um ganho econômico por utilizar em menores quantidades os anti-respingos. O modo operatório foi revisto e os operadores foram instruídos a utilizar um ângulo de soldagem e distância entre o bocal e o material base adequados para dificultar a entrada de ar atmosférico. A vazão do gás foi aumentada de 9 L/min para 11 L/min para se reduzir o nível de porosidades na solda devido ao ar atmosférico para um diâmetro de bocal de 14 mm. Os técnicos de manutenção foram instruídos para verificar o alinhamento e posicionamento dos bicos de contatos dentro do bocal também a fim de evitar a entrada de ar atmosférico.

Referências Bibliográficas:

AHN, H. Applying the Balanced Scorecard concept: an experience report. USA: Long Range Planning, Vol.34, 2001

DRAPINSKI, J. **Elementos de Soldagem**. Mc Graw-Hill, São Paulo, 2006.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V., Soldagem I - Introdução aos Processos de Soldagem, UFMG. Departamento de Engenharia Metalúrgica, Belo Horizonte – MG, 2006

OKUMURA, T., TANIGUCHI, C. Engenharia de Soldagem e Aplicações. LTC, Rio de Janeiro, 1982.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V., Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho, São Paulo: Artliber Editora, 2008.

SILVA, R.; Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto circuito controlada aplicada ao passe de raiz, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.